

ВЛИЯНИЕ СОВМЕЩЕНИЯ ОБМОТОК ДВУХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН, ОБЪЕДИНЕННЫХ В ОБЩЕМ МАГНИТОПРОВОДЕ, НА АКТИВНЫЕ И ИНДУКТИВНЫЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ

В работах [1—3] приведены схемы и рассматривается работа совмещенных обмоток, одновременно выполняющих функции m_1 -фазных первичных обмоток (индекс 1) одной и m_2 -фазных вторичных обмоток (индекс 2) другой электрической машины, объединенной с первой в общем магнитопроводе. Первичные обмотки характеризуются заданным напряжением, а вторичные — намагничивающей силой. В общем случае в [4] исследована эффективность совмещения таких обмоток и приведена методика выбора обмоточных данных и электромагнитных нагрузок. Плотность результирующего тока Δ_c совмещенной обмотки (индекс «с») предлагается определять из условия равенства суммы потерь в меди в двух раздельных обмотках потерям в меди совмещенной обмотки по формуле

$$\frac{\Delta_c}{\Delta} = \frac{\xi_1 + \xi_2 a}{\sqrt{k_1 + (ak_2)^2}}, \quad (1)$$

где $a = \frac{A_2}{A_1}$ — отношение линейных нагрузок раздельных обмоток;

$\xi_1 = \frac{l_{\text{ср.1}}}{l_{\text{ср.с}}}$ и $\xi_2 = \frac{l_{\text{ср.2}}}{l_{\text{ср.с}}}$ — отношения средних длин полувитков первичной и вторичной раздельных обмоток к средней длине полувитка совмещенной обмотки;

$k_1 = \frac{k_{01}}{k_{01c}}$ и $k_2 = \frac{k_{02}}{k_{02c}}$ — отношения соответствующих обмоточных коэффициентов до и после совмещения;
 Δ — плотность тока в раздельных обмотках, полагая, что $\Delta_1 = \Delta_2 = \Delta$.

Шаг совмещенной обмотки может быть выбран близким к полюсному делению либо малополюсной, либо многополюсной электрической машины, т. е. может варьироваться в широких пределах. В соответствии с этим, а также в зависимости от плотности

тока, будут изменяться число витков, обмоточные коэффициенты, поперечные сечения и длины витков, коэффициенты приведения и т. д. Таким образом, активные и индуктивные сопротивления обмоток до и после совмещения, а следовательно, и характеристики объединенных машин в общем случае могут значительно отличаться.

В связи с этим представляется интересным проследить влияние электрического совмещения обмоток, а также выбора обмоточных данных и плотности результирующего тока на величины сопротивлений обмоток до и после совмещения. При этом будем полагать неизменными скорость вращения, числа пазов, мощности, заданные напряжения первичных и намагничивающие силы вторичных обмоток, отношения линейных нагрузок к индукции в воздушном зазоре, числа полюсов и число фаз первичной обмотки.

При этих условиях из известных соотношений, учитывая, что число витков

$$w_{1c} = w_1 \sqrt{k_1},$$

сечение эффективного проводника

$$Q_{1c} = Q_c,$$

и выражая соответствующие числа витков через число эффективных проводников в пазу

$$w = \frac{u_n z}{2ma},$$

сечение эффективного проводника через линейную нагрузку и плотность тока

$$Q = \frac{tA}{u_n \Delta},$$

получим отношение активных сопротивлений первичных обмоток до и после совмещения

$$\frac{r_{1c}}{r_1} = \frac{k_1}{\xi_1} \cdot \frac{\Delta_c}{\Delta} \cdot \frac{A_1}{A_c}. \quad (2)$$

Аналогично для приведенных вторичных активных сопротивлений отношение

$$\frac{r'_{2c}}{r'_2} = \frac{k_2^2}{\xi_2} \cdot \frac{\Delta_c}{\Delta} \cdot \frac{A_2}{A_c}. \quad (3)$$

Для рассматриваемых случаев [1—3] линейная нагрузка совмещенной обмотки

$$A_c = \sqrt{A_{1c}^2 + A_{2c}^2},$$

где при принятых условиях

$$\begin{aligned} A_{1c} &= A_1 \sqrt{k_1}; \\ A_{2c} &= A_2 k_2. \end{aligned}$$

Тогда, обозначив относительные частичные линейные нагрузки как

$$c_{A1} = \frac{A_{1c}}{A_c}; \quad c_{A2} = \frac{A_{2c}}{A_c},$$

после простых преобразований получим

$$\frac{r_{1c}}{r_1} = \frac{\sqrt{k_1}}{\xi_1} \cdot \frac{\Delta c}{\Delta} \cdot c_{A1}; \quad \frac{r'_{2c}}{r'_2} = \frac{k_2}{\xi_2} \cdot \frac{\Delta c}{\Delta} \cdot c_{A2}. \quad (4)$$

Здесь частичные линейные нагрузки соответственно равны

$$c_{A1} = \frac{\sqrt{k_1}}{\sqrt{k_1 + (ak_2)^2}}; \quad c_{A2} = \frac{ak_2}{\sqrt{k_1 + (ak_2)^2}}. \quad (5)$$

При изменении ak_2 от нуля до бесконечности значения c_{A1} и c_{A2} всюду меньше единицы (см. рисунок) и связаны соотношением:

$$c_{A1}^2 + c_{A2}^2 = 1.$$

Из уравнений (4) получим условия выбора обмоточных данных и плотности результирующего тока при замене двух отдельных обмоток одной совмещенной, которые обеспечивают равенство $r_{1c} = r_1$ и $r'_{2c} = r'_2$ соответственно

$$\frac{\Delta c}{\Delta} = \frac{\xi_1}{\sqrt{k_1}} \cdot \frac{1}{c_{A1}}; \quad (6)$$

$$\frac{\Delta c}{\Delta} = \frac{\xi_2}{k_2} \cdot \frac{1}{c_{A2}}. \quad (7)$$

Общее условие одновременного сохранения значений r_1 и r'_2 до и после совмещения из (6) и (7) определяется равенством

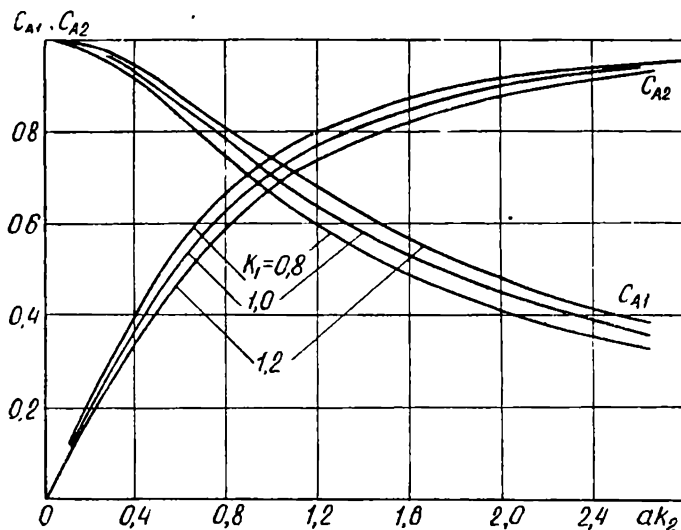
$$k_2 = \sqrt{k_1 \frac{l_{cp2}}{al_{cp1}}}, \quad (8)$$

где величины l_{cp1} ; l_{cp2} и a для отдельных обмоток известны.

После подстановки (8) в (1) получим плотность результирующего тока, которая одновременно удовлетворяет условиям равенства потерь в меди и активных сопротивлений до и после совмещения:

$$\frac{\Delta c}{\Delta} = \sqrt{\frac{\xi_1}{k_1} (\xi_1 + \xi_2 a)}. \quad (9)$$

Можно показать [4], что замена двух обмоток одной совмещенной по расходу меди будет экономична при $\frac{\Delta_c}{\Delta} > 1$. Этому



Зависимость частных линейных нагрузок c_{A1} и c_{A2} от произведения ak_2 при разных значениях k_1 .

условию удовлетворяет значение подкоренного выражения больше единицы. Отсюда

$$\xi_1 + \xi_2 a > \frac{k_1}{\xi_1}. \quad (10)$$

Очевидно, что вес меди будет меньше при $\xi_1 \geq 1$, т. е. при выборе шага совмещенной обмотки, близкого к шагу первичной раздельной обмотки или меньше его (тогда $l_{cp.c} \leq l_{cp.1}$).

Следует отметить, что условие $r'_{2c} = r'_2$ обеспечивает равенство потерь в меди вторичных обмоток до и после совмещения.

Рассматривая отношения индуктивных сопротивлений рассеяния, из известных выражений при принятых в этой работе условиях получим

$$\begin{aligned} \frac{x_{1c}}{x_1} &= k_1 \frac{\sum \lambda_{1c}}{\sum \lambda_1}; \\ \frac{x'_{2c}}{x'_2} &= k_2^2 \frac{\sum \lambda_{2c}}{\sum \lambda_2}, \end{aligned} \quad (11)$$

где $\sum \lambda$ — сумма проводимостей для потоков рассеяния соответствующей обмотки.

Для получения $x_{1c}=x_1$ и $x'_{2c}=x_2$ при замене двух отдельных обмоток одной совмещенной отношения обмоточных коэффициентов должны равняться

$$\begin{aligned} k_1 &= \frac{\Sigma \lambda_1}{\Sigma \lambda_{1c}}; \\ k_2 &= \sqrt{\frac{\Sigma \lambda_2}{\Sigma \lambda_{2c}}}. \end{aligned} \quad (12)$$

Приближенное исследование показывает, что хотя бы одно из уравнений (12) может быть выполнено с достаточной для практики точностью.

При принятых условиях значительные отличия в проводимостях полей рассеяния обусловлены в основном разной длиной лобовых частей. Тогда для схемы обмотки ротора [1, 2] при максимальном шаге совмещенной обмотки лобовые части ее будут примерно равными лобовым частям вторичной раздельной обмотки двигателя. Поэтому можно считать, что $\Sigma \lambda_{2c} \approx \Sigma \lambda_2$ и $k_2 \approx 1$.

При укороченном шаге лобовые части совмещенной обмотки уменьшаются. При этом $\Sigma \lambda_{2c} < \Sigma \lambda_2$ и $k_{02c} < k_{02}$, значит, отношения $\frac{\Sigma \lambda_2}{\Sigma \lambda_{2c}}$ и k_2 одновременно возрастают. Следовательно, тенденция к выполнению условия $x'_{2c} = x'_2$ при любом шаге сохраняется.

Для первичной обмотки условие $x_{1c} = x_1$ может быть обеспечено при выборе шага совмещенной обмотки, близкого к шагу первичной раздельной обмотки. В этом случае $k_1 \approx 1$ и $\Sigma \lambda_{1c} \approx \Sigma \lambda_1$.

Таким образом, приведенный анализ подтверждает возможность сохранения параметров и характеристик при электрическом совмещении обмоток и показывает пути рационального проектирования.

ЛИТЕРАТУРА

1. В. М. Павлинин. Асинхронно-синхронный одномашинный преобразователь частоты. Тр. УПИ, сб. 90, Свердловск, 1958.
2. Ю. В. Барышников, В. М. Павлинин. Одномашинный преобразователь частоты с одной совмещенной обмоткой на роторе. Тр. УПИ, сб. 138, Свердловск, 1964.
3. Ю. В. Барышников. Совмещенные обмотки асинхронных двигателей. Тр. УПИ, сб. 181, Свердловск, 1970.
4. В. М. Павлинин, Ю. В. Барышников, Н. С. Спуннов. Выбор электромагнитных нагрузок и эффективность совмещенных обмоток. Изв. ТПИ, 1971, 212.